

**FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**IMNA POLLINE DE FREITAS SILVA**

**MÁRIO LÚCIO DA COSTA JÚNIOR**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE FIBRAS DE CARBONO  
NO REFORÇO ESTRUTURAL EM VIGA EM COMPARAÇÃO AO METODO DE  
ENCAMISAMENTO NA REGIÃO DE CARATINGA-MG**

**CARATINGA**

**2017**

**IMNA POLLINE DE FREITAS SILVA**  
**MÁRIO LÚCIO DA COSTA JÚNIOR**  
**FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE FIBRAS DE CARBONO  
NO REFORÇO ESTRUTURAL EM VIGA EM COMPARAÇÃO AO METODO DE  
ENCAMISAMENTO NA REGIÃO DE CARATINGA-MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Claudemir Máximo de Sousa.

**CARATINGA**

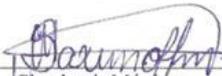
**2017**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Análise da viabilidade econômica do uso de fibras de carbono no reforço estrutural em viga em relação ao método de encamisamento na região de Caratinga-MG, elaborado pelo(s) aluno(s) Imna Polline de Freitas Silva e Mário Lucio da Costa Junior foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

Caratinga 7 de Dezembro de 2017



Claudemir Máximo  
Prof. Orientador



Sidinei Araújo  
Prof. Avaliador 1



Sérgio Reis  
Prof. Examinador 2

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus por nos guiar até aqui.

Agradecemos a todos os amigos e familiares que nos deram a força motivadora para ter persistência e dedicação.

Agradecemos a todos os mestres e professores pelos conhecimentos repassados, e por contribuírem tanto com nossa formação.

Agradecemos àqueles sinceros amigos que viveram este sonho com a gente, amigos que conhecemos graças a essa jornada, o nosso muito obrigado.

## RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo apresentar e comparar a viabilidade das técnicas de reforço estrutural com fibra de carbono e a técnica de reforço por meio de encamisamento, na região de Caratinga-MG. O reforço estrutural se torna necessário a partir do momento em que o elemento estrutural não é capaz de suportar os esforços que são aplicados sobre ele e começa a apresentar patologias. As técnicas expostas nessa pesquisa se destacam pela rapidez em que são executadas, e pela facilidade de execução, ambas são consideradas eficientes a partir do momento que sejam utilizados materiais de boa qualidade, e sejam executadas por mão de obra qualificada. Nas análises obtidas nessa pesquisa observou-se que o método de reforço por encamisamento é realizado com maior facilidade na região, visto que os fornecedores dos materiais para o método de reforço por fibra de carbono encontram-se a uma distância considerável o que influencia diretamente no custo da intervenção.

**Palavras-chave:** Reforço estrutural. Fibra de Carbono. Viga. Encamisamento.

## **ABSTRACT**

This study aims to present and compare the feasibility of structural reinforcement techniques with carbon fiber and a reinforcement technique by means of casing in the region of Caratinga-MG. The structural reinforcement becomes necessary from the moment when the structural element is not able to withstand the stresses that are applied onto it and begins to present pathologies. The techniques presented in this study stand out due to how fast they are executed, and because of the ease of execution. Both techniques are considered efficient as long as good quality materials are used and it is executed by skilled labor. It was observed that the reinforcement method by casing, analyzed in this study, is performed with greater ease in the region, since suppliers of materials for the method of reinforcement by carbon fiber are at a considerable distance, which directly influences the cost of intervention.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lançamento do concreto sobre o aço, resultando no concreto armado....	18
Figura 2 - Classificação das principais causas de patologias .....	20
Figura 3 - Viga fissurada .....	21
Figura 4 - Falha de execução na viga .....	22
Figura 5 - Viaduto Santa Tereza; Utilização de Fibra de Carbono .....	23
Figura 6 - Fibra de Carbono .....	24
Figura 7 - Lixamento do local onde será aplicado a Fibra .....	26
Figura 8 - Método de encamisamento de concreto armado .....	28
Figura 9 - Tabela para o dimensionamento de seções retangulares.....	31
Figura 10 - Esforços necessários para encontrar o momento resistor da viga.....	32
Figura 11 - Viga em estudo .....	37
Figura 12 - Desenho da flecha na Viga em seu estado normal.....	38
Figura 13 - Desenho da flecha na viga após o carregamento .....	38
Figura 14 - Relatório sobre a viga em seu estado normal.....	39
Figura 15 - Relatório sobre a viga após o carregamento. ....	39
Figura 16 - Tabela de dimensionamento de seção retangular. ....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Comparação entre os dois métodos.....	54
Tabela 2 Custo de preparação da superfície para o reforço com fibra de carbono...	55
Tabela 3 Custo da preparação da superfície para o método de encamisamento .....	55
Tabela 4 Orçamento para materiais utilizados no reforço com fibra de carbono .....	55
Tabela 5 Orçamento de materiais para o método de encamisamento .....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$A_s^i$	Área de aço decompressão
$A_{s,efet.}$	Área de aço efetiva
$A_{fc}$	Área da fibra de carbono para reforço
$A_{s,ref.}$	Área de aço de reforço
$A_{st}$	Área de aço de tração
$A_s$	Área de aço
$E_b$	Deformação no reforço para o carregamento máximo
$E_{bi}$	Deformação já existente
$E_{ref}$	Máxima deformação de reforço
$\epsilon_{bi}$	Deformação específica preexistente quando da instalação de reforço
$\epsilon_c$	Deformação específica do concreto
$\epsilon_{fc}$	Deformação específica da fibra de carbono
$\epsilon_s$	Deformação específica do aço
$F_s^j$	Força resultante na seção comprimida de aço
$F_c$	Força resultante da seção comprimida de concreto
$F_{ck}$	Resistência a compressão característica do concreto
$F_{fc}$	Força resultante da seção tracionada do reforço
$F_{ref,rd}$	Força resistente de cálculo de reforço
$F_s$	Força resultante na seção tracionada de aço

$F_{sd}$	Resistência a tração de cálculo do aço
$F_{yd}$	Resistência a compressão característica do concreto
$F_{yk}$	Resistência a tração característica de escoamento da armadura
$H_{tot}$	Área final da viga
$M_{gd}$	Momento solicitante de cálculo devido a carga permanente
$M_{rd}$	Momento resistente de cálculo
$M_{sd}$	Momento solicitante de cálculo
$b_w$	Largura da base da viga
$f_{fc}$	Resistência a tração de cálculo da fibra de carbono
$\gamma_c$	Coefficiente de minoração da resistência do concreto
$\gamma_s$	Coefficiente de minoração da resistência do aço
$\Sigma_{sd}$	Tensão na armadura tracionada
$H$	Altura da seção transversal da viga
$Z$	Resultante da força de compressão do concreto e tração do aço
$D$	Altura útil
$d'$	Distância entre a base inferior da viga e a armadura tracionada
$G$	Cargas permanentes
$L$	Vão efetivo da viga
$Q$	Carga acidental
$X$	Posição da linha neutra

$\Gamma$	Coeficiente de majoração das cargas solicitantes
$\psi$	Coeficiente para correção da taxa constante de tensões no concreto
$\phi$	Coeficiente de redução em função da novidade da fibra de carbono

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	Contextualização.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
1.3	Estruturação da Pesquisa.....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1	O Concreto.....	17
2.1.1	Concreto simples.....	17
2.1.2	Concreto armado.....	18
2.2	Patologias.....	19
2.3	Reforço estrutural com fibra de carbono.....	22
2.3.1	Vantagens e desvantagens do uso de fibra de carbono.....	25
2.3.2	Execução da fibra de carbono.....	26
2.4	Reforço estrutural por encamisamento.....	27
2.4.1	Vantagens e desvantagens do uso.....	28
2.4.2	Execução.....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO</b> .....	<b>30</b>
3.1	ESTUDO DE CASO.....	37
3.1.1	CÁLCULO REFERENTE A ELEMENTO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO.....	40
3.1.2	CÁLCULO REFERENTE AO ELEMENTO REFORÇADO PELO MÉTODO DE ENCAMISAMENTO.....	51
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>57</b>

<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>
----------	--	-----------

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Ao longo da história da construção civil, nota-se um grande avanço dos materiais e técnicas utilizadas na execução de edificações. Com o desenvolvimento do concreto, do método de cálculo, e o apelo econômico-financeiro; as estruturas passaram a ser projetadas com margens de segurança reduzidas. Somando-se, ainda, à exigência por prazos cada vez mais curtos, mão de obra desqualificada, o empobrecimento geral e, até mesmo, a alteração ambiental causada pelo homem, tem-se, hoje, muitas obras com uma deterioração precoce e deficiências generalizadas. (REIS, 2001).

Há uma constante evolução que busca praticidade na execução, prolongamento da vida útil, barateamento e aumento da capacidade resistente das estruturas. De acordo com Santos (2008), a necessidade de se reforçar uma estrutura ocorre a partir do momento em que o elemento estrutural já não é capaz de suportar o aumento dos esforços, que, pode ocorrer, devido a vários problemas como: aumento de carregamento, modificações nos ambientes da construção. Quando uma estrutura não é capaz de resistir a cargas a que está submetida, tem-se a necessidade de reforçá-la ou reabilitá-la.

Segundo Reis (2001), através dos processos sofridos pela estrutura surgem as patologias. Por isso, conhecer os mecanismos e formas de deterioração de concreto possibilita a promoção de um dos passos fundamentais para a realização de uma avaliação real das condições das estruturas danificadas, e programar soluções. As estruturas de concreto, muitas vezes, antes de cumprirem seu papel em sua vida útil, apresentam um processo de degradação.

O conceito de durabilidade do concreto estabelece os requisitos necessários de manutenção da capacidade resistente, forma e aparência da estrutura, quando sujeita aos carregamentos e condições ambientais (REIS, 2001).

Segundo Silva et al (2012) há grande necessidade de qualidade e durabilidade das estruturas para diminuir os riscos de patologias, que ainda persistem em fazer parte das obras. Assim, percebe-se que os métodos disponíveis para a sua prevenção e correção necessitam de ser aperfeiçoados.

O reforço de estruturas, por encamisamento de seções, também se destaca devido às suas vantagens econômicas e rapidez de execução. As vigas que são reforçadas por encamisamento são peças compostas, e, esse procedimento corresponde ao aumento da seção transversal de concreto com ou sem adição de armadura (SOTO, 2013).

Ao analisar os problemas que apresentam a maioria das estruturas em concreto armado, e considerando que é necessário o aumento de sua capacidade e durabilidade; foram escolhidas duas técnicas para a reabilitação e fortalecimento de estruturas, visando amenizar os riscos de patologia. O estudo dessas técnicas, como a análise de disponibilidade econômica, tende a abrir um mercado para os engenheiros interessados na especialização em reforço estrutural, já que, a demanda dessa habilidade cresce; e são poucos os profissionais que possuem conhecimento técnico para atuar nessa área.

Visando a necessidade de aumentar a capacidade de carga de uma viga, existem vários métodos para solucionar esses problemas. O presente trabalho apresentará dois desses métodos: o de aplicação de manta de carbono, e o método de encamisamento, visto que conseguem atender a diversos elementos estruturais, tais como: pilares, lajes, vigas e paredes.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Apresentar um estudo de viabilidade econômica de reforço estrutural entre os métodos de reforço estrutural com fibra de carbono, e reforço estrutural por encamisamento.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Vantagens e desvantagens dos métodos.
- Estudo de caso.
- Desenvolvimento dos cálculos.
- Elaboração de orçamentos.
- Comparação de custos.

## 1.3 Estruturação da Pesquisa

Esta pesquisa foi dividida em 6 (seis) capítulos, conforme descrito pelos itens a seguir:

- Capítulo 1: Contém a introdução, com a contextualização, o objetivo geral e específico e a organização da dissertação;
- Capítulo 2: Contém a revisão bibliográfica, abordando os temas de reforço estrutural, vantagens e desvantagens do reforço estrutural com fibra de carbono e vantagens e desvantagens do reforço estrutural no método de encamisamento.
- Capítulo 3: Contém a metodologia de dimensionamento e a execução de um reforço em uma viga com os dois métodos.
- Capítulo 4: Contém os resultados e suas discussões, apresentando os resultados dos cálculos, os orçamentos.
- Capítulo 5: Contem conclusão e recomendações.
- Capítulo 6: Referências bibliográficas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O Concreto

#### 2.1.1 Concreto simples

O concreto simples corresponde à mistura de água, agregados miúdos e agregados graúdos. É uma rocha artificial, que algumas vezes, contém aditivos químicos. Esse agregado é um material granular, sem possuir forma e volumes definidos, com as dimensões e propriedades necessárias para o manuseio e utilização em obras na construção. (SILVA; MATOS, 2016).

Para que suas características sejam mantidas é necessária uma proporcionalidade na quantidade de água, cimento e agregados. A água é essencial para possibilitar as reações químicas que leva à hidratação do cimento e, assim, contribui para sua durabilidade e resistência. A quantidade de água influi diretamente na resistência, quanto menor o teor de água, maior é a resistência do concreto e menor é a trabalhabilidade.

É formada uma massa pela mistura de cimento e água, preenchendo vazios entre eles, unindo os grãos dos agregados formando uma massa compacta e trabalhável. A resistência dele aumenta com o tempo. Propriedade que o diferencia dos demais materiais de construção. O concreto simples varia entre 20 Mpa e 50 Mpa, inviável para execução de lajes e vigas (NASCIMENTO, 2012). O concreto costuma atingir sua resistência e dureza pretendida aos 28 dias.

A NBR 6118/14 caracteriza o concreto simples como um elemento estrutural elaborado com concreto, que não possui qualquer tipo de armadura, ou a possui em uma quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado.

### 2.1.2 Concreto armado

O concreto armado é considerado um material novo. Até o final do século XIX, ainda eram usadas estruturas de madeira e alvenaria. Esse material foi descoberto em 1849, quando se realizou a construção da primeira estrutura de concreto armado. Construiu-se um barco. Com o sucesso, a partir dessa data, seu uso foi aumentando constantemente, sendo considerado, hoje, o material mais utilizado do mundo da construção civil (CARVALHO, 2008).

Diversas pesquisas foram feitas para atingir uma combinação ideal, de forma que aproveitasse as melhores características de cada material. Com algumas análises, percebeu-se que o concreto era facilmente obtido e moldado. Consideravelmente, resistente à compressão e ao esmagamento, mas apresentava certa deficiência ao cisalhamento e a tração. Já o aço era bastante resistente à tração. A partir disso, a junção do concreto com as barras de aço foi fundamental para que fosse adquirida resistência à tração, compressão e ao cisalhamento (CARVALHO, 2008). Juntos, o concreto e o aço, possibilitaram a engenharia construir elementos antes impossíveis. A figura 1 mostra o concreto sendo adicionado na forma onde já está posicionado o aço, tendo como resultado final o concreto armado.

Figura 1 - Lançamento do concreto sobre o aço, resultando no concreto armado



Disponível em : <<http://https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concreto-armado-2/>>

De acordo com Bastos (2006), esse material surgiu no intuito de unir a resistência do aço com a durabilidade da pedra, por sua facilidade e rapidez na execução. A riqueza das matérias-primas, em vários lugares, e sua facilidade de ser moldado, foram requisitos essenciais para o concreto se desenvolver cada vez mais na construção.

Duas características destacam o concreto em relação aos outros materiais: a resistência à água e seu preço, que é considerado mais acessível que outros métodos construtivos. Por isso, cada vez mais, procura-se aperfeiçoar e pesquisar novas formas de utilização, para que ultrapasse as exigências do mercado atual (LIMA et al, 2014). O funcionamento adequado do concreto armado é possível através da aderência desse material. Se os materiais componentes trabalham em conjunto, há uma garantia da sua eficiência, deformando e transferindo tensões.

Segundo Silva (2009), o consumo do concreto, no mundo, foi esperado em 3 milhões de toneladas. O único material mais usado pelo homem do que o concreto é a água. O consumo dele chega a ser dez vezes maior do que o do aço, em alguns países.

## **2.2 Patologias**

Segundo Adorno *et al* (2015), quando se projeta uma estrutura de concreto armado, é de suma importância atender as finalidades, as quais ela foi concebida, apresentando segurança, conforto e economia no seu planejamento. Os três fatores que influenciam, na sua qualidade, são: concepção e projeto, utilização e execução. Quando algum desses fatores apresentarem falhas, a estrutura estará sujeita às patologias, que são degradações no desempenho da estrutura. Quando se observa os problemas patológicos, o primeiro passo é detectar as causas da patologia, a partir disso, será possível identificar a melhor solução.

Essas causas se dividem em intrínsecas e extrínsecas. Ainda segundo Adorno *et al* (2015), as classificações delas, são:

- As que se definem como intrínsecas têm como características problemas inerentes à estrutura, que se fazem durante a execução e utilização da armação. Na efetivação, esses problemas podem estar relacionados às deficiências de concretagem, no escoramento e na forma. As causas mais comuns das patologias são as imperfeições nas armaduras. Já as posições que são definidas para as armaduras, no projeto, são de suma importância. O mau posicionamento, ou até mesmo alguma pisada nelas negativa dos trabalhadores, durante a construção, podem resultar em uma mudança na forma; fazendo com que os esforços distribuídos pela estrutura sejam prejudicados, necessitando a solicitação de regiões não planejadas.
- Já no que tange às causas extrínsecas, essas resultam de fatores externos à estrutura, sendo classificadas como: falhas de projeto, má utilização, ações mecânicas, ações físicas e químicas. No uso da estrutura, as falhas mais comuns se relacionam à mudança do uso, que era previsto no início do projeto, que pode gerar significativas sobrecargas e o aparecimento de efeito de segunda ordem.

Figura 2 - Classificação das principais causas de patologias



Disponível em <<https://files.construfacilrj.com.br/2013/07/grafico-causas-patologias-construcao-civil.jpg>>

Adorno *et al* (2015), diz ainda que as ações físicas se relacionam com as variações de temperatura em relação ao clima, a de radiação, a qual o concreto é submetido. Na figura 2 é exemplificado por meio de um gráfico as principais causas

de patologias em estruturas. Estruturas de concreto se encontram normalmente fissuradas, devido a sua baixa resistência à tração. Todavia, essas fissuras devem ser controladas para não causarem patologias, como por exemplo, a corrosão de armaduras.

A partir disso, recuperar pode ser caracterizado como forma de viabilizar o uso da estrutura, após surgirem patologias que comprometam a sua resistência. Por isso, a recuperação tem como objetivo restabelecer a segurança e o uso de um elemento estrutural danificado. O reforço já pode ser caracterizado como um aumento da capacidade resistente, mesmo que o suporte não tenha atingido o seu estado limite último. Nas duas situações, as técnicas executivas, e as técnicas de projetos são semelhantes. A figura 3 mostra uma viga fissurada por não aguentar as cargas a qual foi solicitada.

Figura 3 - Viga fissurada



Disponível em: < <http://engenheirorps.com.br/reforco-estrutural-de-viga.php>>

O concreto armado é o material mais usado em construções no Brasil, por ser considerado um material durável. Porém, algumas vezes, as edificações podem ser prejudicadas por erros na execução, falhas de projeto, corrosão das armaduras e a má utilização. Para sanar esses problemas são necessários os estudos de técnicas

de reforço de estruturas, para o aumento de resistência, e, conseqüentemente, aumento de sua vida útil.

A má execução de retirada de formas ou retirada precoce das mesmas após a concretagem é um dos principais fatores de patologias no concreto. Como é visto na figura 4, após a má retirada da forma, as armaduras ficam visíveis, fazendo que o elemento não cumpra com o seu objetivo para o qual foi projetado.

Figura 4 - Falha de execução na viga



Disponível em: <<http://www.construcaocivil.info/wp-content/uploads/2016/01/Falha-de-concretagem-enviada-por-@joao.o.neto-Concrete-fault-sent-by-@joao.o.neto-direct-directmessa-300x300.jpg>>

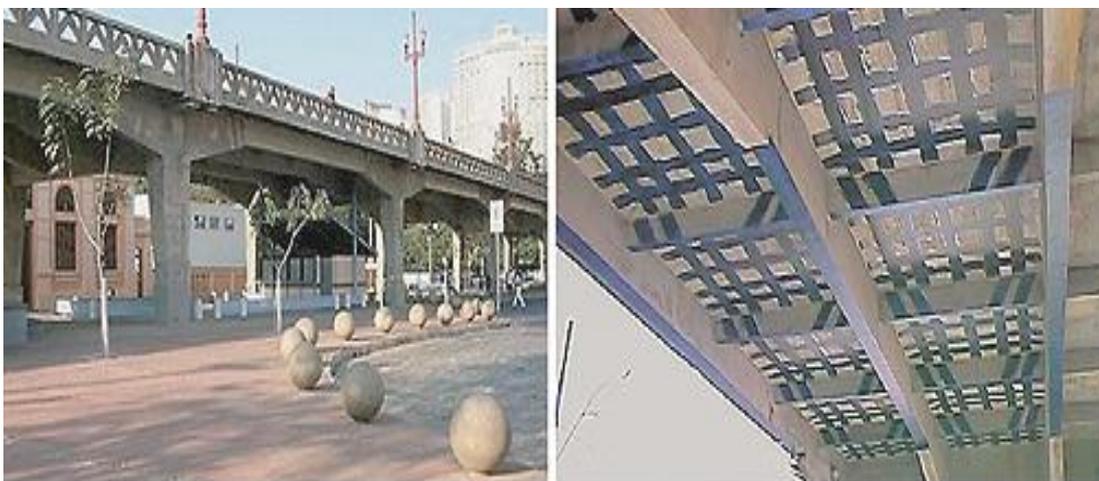
### 2.3 Reforço estrutural com fibra de carbono

As Fibras de carbono começaram a ser comercializadas, no início da década de 1960, após anos de extensa pesquisa dos Estados Unidos, Inglaterra e Japão. Os abalos sísmicos, na região da Ásia, trouxeram diversos danos às estruturas

locais; mostrando extrema necessidade de reforço e recuperação, em um curto intervalo de tempo (EMMONS, 1998).

A figura 5 demonstra a primeira aplicação da Fibra de Carbono, no Brasil que foi no viaduto Santa Tereza, em Belo Horizonte, em 1988. O reforço foi escolhido por aspectos estéticos, pois se tratava de um patrimônio histórico da região (BEBER, 2003).

Figura 5 - Viaduto Santa Tereza; Utilização de Fibra de Carbono



Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/125/artigo285695-1.aspx>>

O sistema de Fibra de carbono é o resultado do tratamento térmico, a Carbonização. Seu processo vem da oxidação dessas fibras precursoras, através de temperaturas elevadas. Foi uma das primeiras técnicas com intuito de aumentar a rigidez e resistência dos materiais (MACHADO, 2002). O seu processo de produção consiste na oxidação das fibras precursoras, seguidos de uma elevada temperatura que varia de 1000°C a 1500°C (CAETANO, 2008).

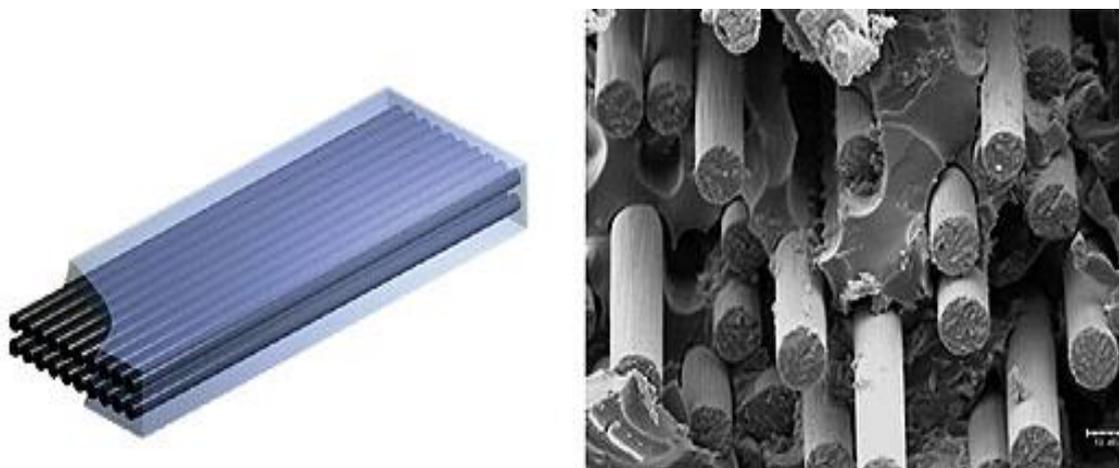
A matéria-prima fundamental das fibras de carbono é o polímero de poliacrilonitrila, que é obtido a partir da polimerização de uma variação do acrílico. A principal vantagem dessa fonte é a grande concentração de carbono, visto que de 90% dos átomos no material são compostos dele. Durante a geração, o polímero é

esticado e se converte, paralelo ao eixo das fibras, formando uma liga bem rígida e resistente (HAMANN, 2015).

De acordo com Hamann (2015), a produção da Fibra é dividida em quatro etapas indispensáveis: polimerização por pirólise (extração do carbono a partir do superaquecimento da poliacrilonitrila); ciclização (método de esticamento dos polímeros para o eixo da fibra); oxidação (extração do hidrogênio e adição do oxigênio); e adição de reagente (quando o epóxi será adicionado para a moldagem das placas de carbono).

O peso específico da Fibra de Carbono varia de 1,6 a 1,9 g/gm<sup>3</sup>, sendo que seu peso específico é cerca de 5 vezes menor do que a do aço estrutural. Todos os sistemas compostos por essas Fibras têm os materiais desenvolvidos, após exaustivos testes materiais e estruturais (CAETANO, 2008). A figura 6 exemplifica as propriedades químicas da fibra de carbono.

Figura 6 - Fibra de Carbono



Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/125/artigo285695-2.aspx>>

De acordo com Lebrão (2008), as Fibras de carbono, por sua grande resistência a tração, módulo de elasticidade elevado e baixa massa específica são bastante utilizadas em aplicações, que envolvem redução de massa, não havendo diferença grande no peso da estrutura.

Segundo Pivatto (2014), imprimadores primários têm como principal objetivo penetrar o substrato de concreto para permitir uma aderência à resina ou outras substâncias que serão utilizadas. Pela tração: resistência do imprimador deve ter de 13,0 a 15,8 Mpa, um alongamento máximo de 10 a 30%, módulo tangencial 689,0 a 826,8 Mpa.

As superfícies são, através dos regularizadores, preenchidas de vazios ou corrigidos de imperfeições. Sua resistência à tração é 23,0 Mpa, alongamento máximo de 1,6%, módulo de tração 262,0 Mpa. As resinas de saturação são usadas para impregnar as fibras que fazem parte do elemento estrutural. Ela influi muito pouco para resistência, mas sua função é de grande importância para absorver os reforços de flexão e cisalhamento. Com sua resistência à tração 43,0 Mpa, resistência direta à tração 78,0 Mpa, resistência à compressão 88,0 Mpa (PIVATTO, 2014).

### 2.3.1 Vantagens e desvantagens do uso de fibra de carbono

As fibras de carbono se destacam por suas grandes vantagens em relação a outras técnicas de reforços entre elas: (SANTOS, 2014)

- Resistência elevada com baixo peso;
- Resistência a corrosão em ambientes agressivos;
- Rapidez e praticidade na execução;
- Resistência à fadiga;
- Resistência térmica e estabilidade dimensional;
- Características de amortecimento em vibrações;

O peso relativamente baixo comparado a outros faz com que a Fibra se destaque ainda mais no mercado, sua utilização em espaços confinados, sua maleabilidade também permite uma facilidade de adaptação às diversas geometrias das estruturas.

Por mais eficaz e rápido que seja a implantação desse método, ainda assim apresentam algumas desvantagens: (SANTOS, 2014)

- Perda de desempenho a elevadas temperaturas;
- Ruptura precoce pelo deslocamento do reforço;

- Exigência de mão de obra especializada;
- Sistema desprotegido de cargas de impacto;

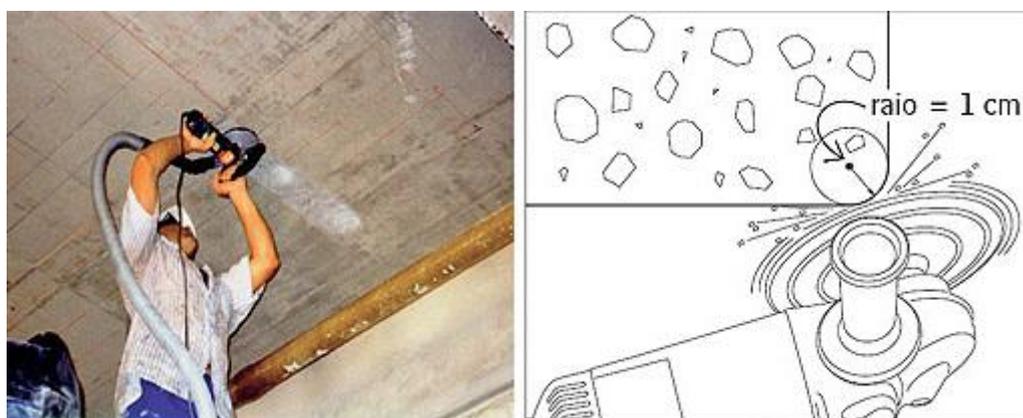
Segundo Santos (2014) em relação a temperaturas elevadas, o ideal é desconsiderar o reforço numa situação de incêndio e a maior dificuldade atualmente dessa técnica é a mão de obra especializada.

### 2.3.2 Execução da fibra de carbono

Para uma aplicação eficiente é necessário uma série de requisitos a serem obedecidos, indispensáveis para o funcionamento adequado:

- Como e demonstrado na figura 7, o primeiro passo é lixar a superfície de concreto para eliminar partículas soltas;
- Limpar para retirar poeiras e óleos com solvente;
- Aplicar o “primer” para selar superfície de concreto;
- Aplicar a argamassa de regularização para eliminar os buracos;
- Lixar e regularizar de modo que haja uma aderência entre a superfície e os demais materiais;
- Impregnar com resina de saturação a superfície de concreto;
- Colar a Fibra de carbono;
- Impregnar a Fibra com a mesma resina usada na impregnação da superfície de concreto;
- Aplicar a pintura de proteção;

Figura 7 - Lixamento do local onde será aplicado a Fibra



Segunda a revista *Téchne* (2007), no final, tem-se um elemento composto por concreto armado e fibra de carbono, com uma maior capacidade de resistência a flexão de vigas e lajes. Os sistemas compostos estruturados que utilizam as fibras de carbono como elemento resistente apresentam as seguintes características: extraordinária resistência mecânica; impressionante rigidez; estabilidade térmica e reológica; e não são afetados pela corrosão por se tratar de um produto inerte.

## **2.4 Reforço estrutural por encamisamento**

Os elementos estruturais são responsáveis por sustentar toda a carga da obra, com o decorrer do tempo, muitos problemas vêm sendo notados e esses acabam afetando o desempenho da edificação(SOUSA, 2008)

Para amenizar esses problemas, podem-se recuperar os elementos estruturais, através de métodos que reforçam essas peças basilares que foram danificadas com o tempo de uso. Dentre essas técnicas, destaca-se no Brasil o método do encamisamento, que consiste na adição do concreto armado ou não, a seção transversal do elemento a ser recuperado (SOTO, 2013).

De acordo com (SOUSA, 2008) para a recuperação e o reforço de uma determinada estrutura, é essencial um estudo aprofundado para saber se a técnica e os materiais são adequados para garantir um desempenho e a durabilidade.

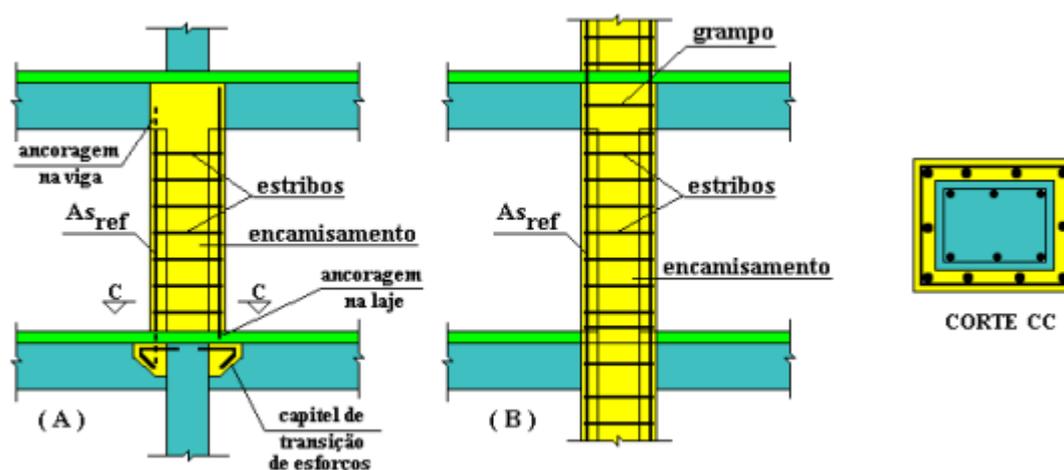
Para cada tipo de técnica de reforço estrutural é fundamental, na fase de projetos, que os materiais sejam adequados de maneira que garanta o aumento de vida útil, seu desempenho e resistência solicitada. A elaboração de cálculos também é de suma importância, tendo em vista que com um projeto bem detalhado escolhe-se as melhores técnicas visando a parte econômica e sua eficiência (ARALDI,2013).

O método do encamisamento de concreto armado é aquele em que o elemento é totalmente envolvido pelo concreto e há um aumento de seção transversal devido à sua ampliação. De acordo com Piancastelli (2005 *apud* ARALDI, 2013, p.28), nos reforços por encamisamento, à aderência entre o concreto novo e velho é favorecida pela compressão formada, devido a retração transversal

do novo concreto de reforço e, assim, causa uma pressão lateral no elemento original.

O aumento de seção transversal de um elemento deve-se seguir algumas regras. Se caso for usado concreto projetado, são colocadas as guias lateralmente para evitar a perda excessiva de concreto. Se a opção for o concreto convencional, na maioria das vezes, empregada com aditivos plastificante e expensor, a concretagem deve ser feita por partes. O esquema exemplificado na figura 8, demonstra o desenho de um elemento após a execução do método de encamisamento.

Figura 8 - Método de encamisamento de concreto armado



Fonte : ( PIANCASTELLI, 2005)

Já na prática do projeto, é normal visar à segurança e desconsiderar a contribuição do elemento existente. Ainda assim, essa decisão causa um acréscimo de área maior, reduzindo as possibilidades de aplicação técnica de aumento de seção transversal (ARALDI, 2013 apud SUDANO, 2010).

#### 2.4.1 Vantagens e desvantagens do uso

Segundo Soto (2013), a técnica de reforço por meio de encamisamento é uma das mais utilizadas no Brasil, pois proporciona diversas vantagens, tais como; baixo

custo dos materiais utilizados, facilidade a se obter a mão de obra necessária para a execução, e a tradição da utilização da técnica.

Por sua vez, Soto (2013) diz também que (,) o encamisamento de seções traz algumas desvantagens. Após a execução do reforço pelo método de encamisamento é produzido um elemento final de dimensões superiores as iniciais. Esse método também exige que se espere o concreto atingir sua resistência adequada, com isso, relacionando com o volume acrescido à estrutura, pode-se obter uma sobrecarga com o peso do material adicionado.

#### 2.4.2 Execução

- Aliviar a carga da viga existente, a superfície deve ser apicoada para remoção da nata de cimento e da camada de concreto superficial, para assegurar uma base que facilite a aderência. (Se o concreto e armadura apresentarem falhas e corrosão, devem ser tratados antes da execução do reforço).
- Aplica-se uma armadura de reforço. A retração do concreto novo permitirá uma tensão suficiente para ganho de aderência mecânica. (Antes de inserir as fôrmas e iniciar a concretagem, indica que se lave a superfície, para retirar o pó e saturação da peça).
- Se houver tendência de punção, o recomendável é a execução de um capitel em volta do elemento ou alargamento sobre a laje. (Antes de começar a concretagem, é ideal que se corte uma abertura de cerca de 10 cm de diâmetro na laje do teto, sem seccionar a armação).
- Nessa fase lança o concreto através de um tubo PVC de 100 mm de diâmetro, com camadas de 0,50 m. O adensamento pode ser feito com vibrador de 1" e frequência mínima de 3 mil vpm.
- Após a retirada das fôrmas, e depois que o concreto estiver curado, pode-se aliviar os macacos, para, enfim, usar o elemento reforçado em carga plena.

### 3 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO

Ambos os métodos se diferem quanto a sua forma de cálculo neste caso foi utilizado o estado limite último para que o concreto e a deformação plástica do aço ocorrer simultaneamente ou seja o pior dos casos.

Quanto à Resistência a flexão o cálculo a ser utilizado terá várias medidas e considerações, tais como

- Utilizar o critério de Bernoulli, onde até sua ruptura, se as seções forem planas, assim permanecerão;
- Despreza-se a resistência à tração do concreto;
- O alongamento máximo será de 10% em uma armadura tracionada;
- A deformação não poderá ultrapassar 3,5% do concreto seguindo a NBR 6118/2014;
- Aderência entre a viga e o reforço será perfeita;

Através da NBR 6118/2014, utiliza-se a equação proposta, supondo-se que o concreto possa atingir sua deformação máxima.

$$x = k_x \times d \quad (3.1)$$

$$X = \frac{\varepsilon_C}{\varepsilon_C + \varepsilon_S} \times d \quad (3.2)$$

Utilizando esses dados temos três diferentes tipos de ruptura que poderemos encontrar, uma para  $K_x = 0,26$  outra para  $K_x > 0,26$  e a última para  $k_x < 0,26$ .

- $K_x = 0,26$ : Quando o aço e concreto atingem ao mesmo tempo seus limites, denominados “normalmente armados”;

- $K_x > 0,26$ : Quando a ruína começa pelo concreto e depois chega ao aço, denominados elementos “superarmadas”;
- $K_x < 0,26$ : Quando a ruína começa no aço e é direcionada para o concreto, determinados “subarmadas”;

Para encontrar valores de  $E_c^{max}$  e  $E_s$  e obter outras incógnitas como  $K_x$ ,  $K_z$ ,  $K_{II}$  e  $\alpha$ , foi utilizada o quadro de Sussekindao qual está expresso pela figura 9 para dimensionamento de seções retangulares.

Figura 9 - Tabela para o dimensionamento de seções retangulares

$\psi$	$\epsilon_c^{max}$ (‰)	$E_s$	$k_x$	$k_z$	fek 110	fek 135	fek 150	fek 180	fek 200	fek 220	fek 240	fek 260	CA-25	CA-40 (B)	CA-50 (B)	CA-60 (B)
0,121	0,20	10,00	<b>0,02</b>	0,99	98,40	79,80	75,70	69,10	<b>65,50</b>	62,50	59,80	57,50	2,14	3,44	4,30	5,17
0,244	0,42	10,00	<b>0,04</b>	0,98	44,20	39,90	37,90	34,60	<b>32,80</b>	31,30	29,90	28,80	2,13	3,42	4,28	5,14
0,357	0,64	10,00	<b>0,06</b>	0,98	29,90	27,00	25,60	23,30	<b>22,10</b>	21,10	20,20	19,40	2,12	3,40	4,26	5,11
0,465	0,87	10,00	<b>0,08</b>	0,97	22,80	20,60	19,50	17,80	<b>16,90</b>	16,10	15,40	14,80	2,10	3,37	4,22	5,06
0,565	1,11	10,00	<b>0,10</b>	0,96	18,60	16,80	15,90	14,50	<b>13,80</b>	13,10	12,60	12,10	2,08	3,34	4,17	5,00
0,657	1,35	10,00	<b>0,12</b>	0,95	15,80	14,30	13,50	12,40	<b>11,70</b>	11,20	10,70	10,30	2,06	3,30	4,13	4,96
0,742	1,53	10,00	<b>0,14</b>	0,94	13,80	12,50	11,90	10,80	<b>10,30</b>	9,79	9,37	9,01	2,05	3,28	4,10	4,93
0,811	1,70	10,00	<b>0,16</b>	0,94	12,40	11,20	10,60	9,68	<b>9,19</b>	8,76	8,39	8,06	2,05	3,27	4,08	4,90
0,872	2,20	10,00	<b>0,18</b>	0,93	11,40	10,20	9,70	8,86	<b>8,40</b>	8,01	7,67	7,37	2,02	3,23	4,04	4,85
0,917	2,50	10,00	<b>0,20</b>	0,92	10,50	9,50	9,02	8,23	<b>7,81</b>	7,44	7,13	6,85	2,00	3,20	4,00	4,80
0,955	2,82	10,00	<b>0,22</b>	0,91	9,92	8,93	8,47	7,73	<b>7,33</b>	7,00	6,70	6,43	1,98	3,17	3,96	4,75
0,987	3,15	10,00	<b>0,24</b>	0,90	9,38	8,46	8,03	7,33	<b>6,95</b>	6,63	6,34	6,09	1,97	3,15	3,94	4,73
<b>1,0</b>	<b>3,50</b>	<b>10,00</b>	<b>0,26</b>	<b>0,90</b>	<b>8,94</b>	<b>8,07</b>	<b>7,66</b>	<b>6,99</b>	<b>6,63</b>	<b>6,32</b>	<b>6,05</b>	<b>5,82</b>	<b>1,96</b>	<b>3,13</b>	<b>3,91</b>	<b>4,70</b>
1,0	3,50	9,00	<b>0,28</b>	0,89	8,67	7,82	7,42	6,77	<b>6,43</b>	6,13	5,87	5,64	1,94	3,10	3,87	4,64
1,0	3,50	8,17	<b>0,30</b>	0,88	8,42	7,60	7,21	6,58	<b>6,24</b>	5,95	5,70	5,48	1,92	3,06	3,83	4,59
1,0	3,50	7,44	<b>0,32</b>	0,87	8,20	7,40	7,02	6,41	<b>6,08</b>	5,80	5,55	5,33	1,90	3,03	3,78	4,54
1,0	3,50	6,79	<b>0,34</b>	0,86	8,00	7,22	6,85	6,25	<b>5,93</b>	5,66	5,42	5,20	1,86	2,99	3,76	4,51
1,0	3,50	6,22	<b>0,36</b>	0,86	7,78	7,02	6,66	6,08	<b>5,77</b>	5,50	5,26	5,06	1,85	2,97	3,74	4,48
1,0	3,50	5,71	<b>0,38</b>	0,85	7,61	6,87	6,52	5,95	<b>5,65</b>	5,38	5,15	4,95	1,84	2,96	3,70	4,43
1,0	3,50	5,25	<b>0,40</b>	0,84	7,46	6,74	6,39	5,83	<b>5,54</b>	5,28	5,05	4,85	1,82	2,92	3,65	4,38
1,0	3,50	4,83	<b>0,42</b>	0,83	7,33	6,61	6,27	5,73	<b>5,43</b>	5,18	4,96	4,77	1,80	2,89	3,61	4,33
1,0	3,50	4,45	<b>0,44</b>	0,82	7,20	6,50	6,17	5,63	<b>5,34</b>	5,09	4,88	4,68	1,78	2,87	3,59	4,30
<b>1,0</b>	<b>3,50</b>	<b>4,11</b>	<b>0,46</b>	<b>0,82</b>	<b>7,04</b>	<b>6,36</b>	<b>6,03</b>	<b>5,51</b>	<b>5,22</b>	<b>4,98</b>	<b>4,77</b>	<b>4,58</b>	<b>1,77</b>	<b>2,85</b>	<b>3,57</b>	4,15
1,0	3,50	3,79	<b>0,48</b>	0,81	6,94	6,26	5,94	5,42	<b>5,15</b>	4,91	4,70	4,51	1,76	2,82	3,45	4,02
1,0	3,50	3,50	<b>0,50</b>	0,80	6,84	6,17	5,86	5,35	<b>5,07</b>	4,84	4,63	4,45	1,74	2,75	3,34	3,88
1,0	3,50	3,23	<b>0,52</b>	0,79	6,75	6,09	5,78	5,28	<b>5,01</b>	4,77	4,57	4,39	1,72	2,67	3,22	3,75
1,0	3,50	3,00	<b>0,54</b>	0,78	6,67	6,02	5,71	5,21	<b>4,94</b>	4,71	4,51	4,34	1,7	2,57	3,12	3,62
1,0	3,50	2,75	<b>0,56</b>	0,78	6,55	5,91	5,61	5,12	<b>4,85</b>	4,63	4,43	4,26	1,66	2,51	3,05	3,41
1,0	3,50	2,53	<b>0,58</b>	0,77	6,47	5,84	5,54	5,06	<b>4,80</b>	4,58	4,38	4,21	1,68	2,47	2,95	3,03
1,0	3,50	2,33	<b>0,60</b>	0,76	6,41	5,78	5,49	5,01	<b>4,75</b>	4,53	4,34	4,17	1,66	2,38	2,81	2,94
1,0	3,50	2,15	<b>0,62</b>	0,75	6,34	5,73	5,43	4,96	<b>4,71</b>	4,49	4,30	4,13	1,64	2,32	2,84	2,71
1,0	3,50	1,97	<b>0,64</b>	0,74	6,29	5,67	5,38	4,91	<b>4,66</b>	4,45	4,26	4,09	1,60	2,24	2,81	2,53
1,0	3,50	1,80	<b>0,66</b>	0,74	6,19	5,59	5,30	4,84	<b>4,59</b>	4,38	4,19	4,03	1,59	2,09	2,84	2,41

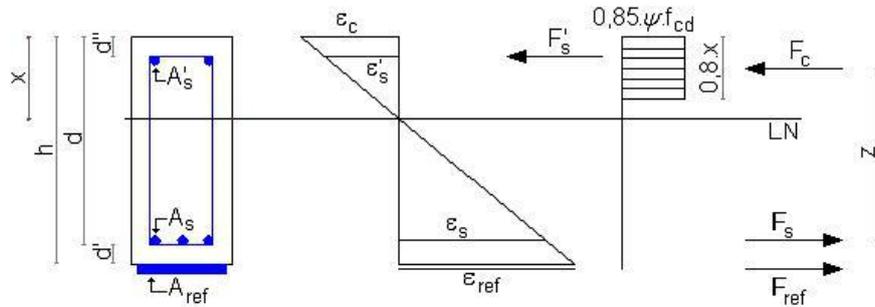
Fonte: Sussekind, 1979

A equação a seguir mostra como é feito o cálculo para encontrar a posição da linha neutra, de acordo com a NBR 6118/2014.

$$X = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} x d \quad (3.3)$$

Para encontrar o momento resistente da viga, os esforços a seguir devem ser encontrados, como demonstrado na figura 10:

Figura 10 - Esforços necessários para encontrar o momento resistor da viga.



Fonte: MACHADO (2002)

É necessário  $\psi$  para modificar o resultado das tensões na compressão no concreto.

- Cálculo da força resultante comprimida do concreto ( $F_c$ )

$$F_c = \psi \times 0,8x \times bw \times 0,85 \times \frac{F_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.4)$$

Onde:

$x$  = Posicionamento da linha neutra;

$bw$  = Base da viga;

$F_{ck}$  = Valor de resistência a compressão no concreto;

$\gamma_c$  = Coeficiente de diminuição da resistência do concreto.

- Cálculo da força que resulta na seção comprimida de aço.

$$F'_s = A'_s \times \frac{F_{yd}}{\gamma_s} \quad (3.5)$$

Sendo:

$A'_s$ = Área de compressão do aço;

$F_{yd}$ = Valor de resistência a compressão do aço;

$\gamma_s$ = Coeficiente de diminuição da resistência do aço.

- Cálculo da força de resistência na parte tracionada do aço ( $F_s$ )

Onde:

$A_s$ =Área da tração do aço.

Sendo assim, utilizaremos a equação a seguir para calcular a força resistente do reforço:

$$M_{rd} = F_s \times (d - 0,4x) + F'_s \times (0,4x - d'') + \Phi \times F_{ref} \times (h - 0,4x) \quad (3.6)$$

Como  $\Phi$  é um fator de minoração do reforço, segundo Machado (2002) deve ser usado no valor de 0,85.

- Cálculo momento fletor resistente:

$$M_{rd} = \psi \times 0,8x \times b_w \times 0,85 \times \frac{F_{ck}}{\gamma_c} \times (d - 0,4x) \quad (3.7)$$

- Área do aço ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{M_{rd}}{\frac{f_{sk}}{\gamma_s} x (d - 0,4X)} \quad (3.8)$$

- Momento fletor solicitante ( $M_{sd}$ )

$$M_{sd} = \frac{(g + q)l^2}{8} x \gamma \quad (3.9)$$

Sendo,

$g$  = carga permanente;

$q$  = carga acidental;

- Momento fletor pelo peso próprio do elemento ( $M_{gd}$ )

$$M_{sd} = \frac{gl^2}{8} x \gamma \quad (3.10)$$

- Deformação máxima ( $k_{II}$ )

$$K_{II} = \frac{d}{\sqrt{\frac{Mgd}{bw}}} \quad (3.11)$$

- Cálculo da região comprimida ( $x'$ )

$$X' = 0,8 \times x \quad (3.12)$$

- Cálculo de força de tração na armadura ( $F_{sd}$ )

$$Z = d - 0,4x \quad (3.13)$$

- Cálculo para verificar a tração da armadura ( $\theta_{sd}$ )

$$\Theta_{sd} = \frac{f_{sd}}{A_s} \quad (3.14)$$

- Deformação dada pelo peso ( $\epsilon_{bi}$ )

$$\epsilon_{bi} = \frac{\theta_{sd}}{E f_c} \quad (3.15)$$

- Deformação determinada pelo aço ( $\epsilon_s$ )

$$\varepsilon_s = \varepsilon_s \times \frac{(d-x)}{x} \quad (3.16)$$

- Cálculo tração resistente da fibra de carbono ( $f_{fc}$ )

$$f_{fc} = E_f \times \varepsilon_s \quad (3.17)$$

- Área a ser reforçada pela fibra de carbono ( $A_{fc}$ )

$$A_{fc} = \frac{F_{fc}}{f_{fc}} \quad (3.18)$$

A partir do momento em que se faz o reforço, é preciso diferenciar as tensões atuantes, pois, a tensão que o elemento estrutural já está sofrendo, é diferente da tensão que o reforço vai sofrer. Através da equação a seguir é possível descobrir a máxima deformação do reforço.

$$\varepsilon_{ref} = \varepsilon_b - \varepsilon_{bi} \quad (3.19)$$

É importante fazer a verificação do cálculo de reforço, como por exemplo: encontrar os momentos solicitantes e resistentes, verificar se o solicitante é maior que o resistente (sendo assim é necessário o reforço), encontrar o posicionamento da linha neutra, encontrar a deformidade dos materiais, as tensões dos mesmos e suas forças resultantes.

### 3.1 ESTUDO DE CASO

Através do que foi explicado anteriormente e para se chegar a uma conclusão de qual método seria mais viável, foi utilizada uma metodologia comparativa entre as duas técnicas. O método comparativo permite analisar demais componentes, por isso se justifica a escolha.

Inicialmente foi feita a revisão dos métodos utilizados para reforçar vigas bi apoiadas de concreto armado, onde a mesma está sujeita a flexão simples. A começar pelo método de adição de fibras de carbono, colocadas na parte inferior da viga e depois através do aumento da secção transversal.

Em relação ao procedimento, este foi realizado *in loco*, para conseguir coletar todos os dados necessários para realizar a pesquisa.

O estudo foi feito na cidade de Caratinga-MG, em uma construção, onde o proprietário instalou uma caixa d'água de 2000L sobre a edificação, assim acrescentando uma carga que não estava prevista no projeto. A edificação onde o estudo foi feito será mantida em sigilo, para prevenir a imagem do proprietário e do seu responsável técnico. A figura 11 representa uma foto real da viga objeto de estudo desta pesquisa. A viga tem seção retangular de 15cmx25cm, e o comprimento de 2,20m.

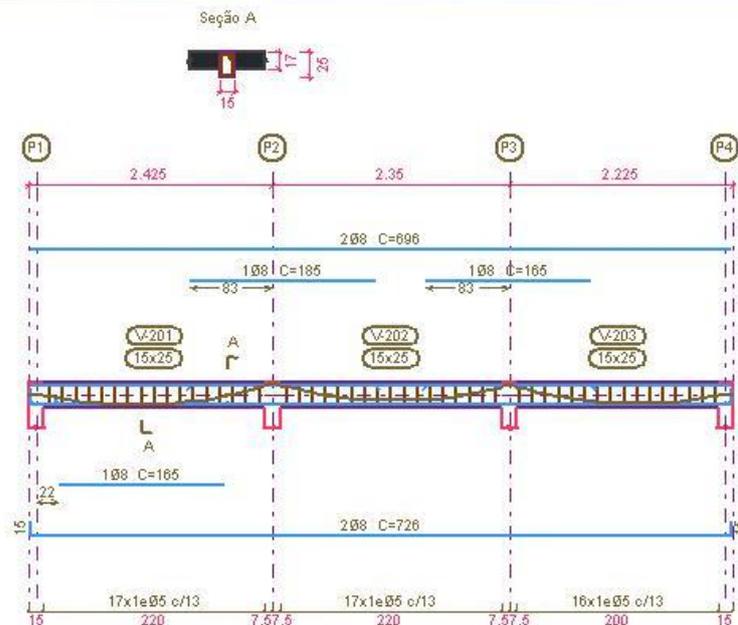
Figura 11 - Viga em estudo



Fonte: Autores da pesquisa

Afigura-12 representa o desenho da flecha na viga (V-201) que é objeto do estudo em seu estado normal antes de ser submetida a carga adicional.

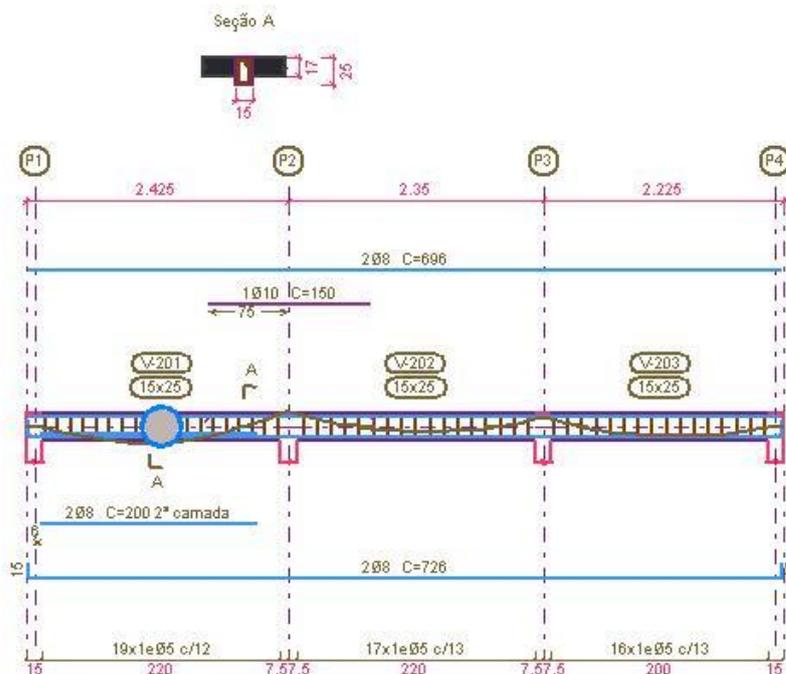
Figura 12 - Desenho da flecha na Viga em seu estado normal



Fonte: Autores da Pesquisa

A figura 13 representa o desenho da flecha da viga (V-201) após o carregamento.

Figura 13 - Desenho da flecha na viga após o carregamento



Fonte: Autores da pesquisa

A figura 14 mostra o relatório gerado pelo software CypeCad demonstra que sem a adição da carga a viga (V-201) suportaria os esforços.

Figura 14 - Relatório sobre a viga em seu estado normal.

Verificações de flecha				
Vigas	Sobrecarga (Característica) $f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	No tempo infinito (Quase permanente) $f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = L/250$	Ativa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = \text{Min.}(10,00, L/500)$	Estado
V-201: P1 - P2	$f_{i,Q}$ : 0.71 mm $f_{i,Q,lim}$ : 6.29 mm	$f_{T,max}$ : 1.12 mm $f_{T,lim}$ : 8.80 mm	$f_{A,max}$ : 1.57 mm $f_{A,lim}$ : 4.40 mm	<b>PASSA</b>
V-202: P2 - P3	$f_{i,Q}$ : 0.12 mm $f_{i,Q,lim}$ : 5.25 mm	$f_{T,max}$ : 0.21 mm $f_{T,lim}$ : 7.33 mm	$f_{A,max}$ : 0.29 mm $f_{A,lim}$ : 3.67 mm	<b>PASSA</b>
V-203: P3 - P4	$f_{i,Q}$ : 0.29 mm $f_{i,Q,lim}$ : 5.71 mm	$f_{T,max}$ : 0.55 mm $f_{T,lim}$ : 8.00 mm	$f_{A,max}$ : 0.75 mm $f_{A,lim}$ : 4.00 mm	<b>PASSA</b>
V-204: V 3 - V 6	$f_{i,Q}$ : 0.86 mm $f_{i,Q,lim}$ : 19.14 mm	$f_{T,max}$ : 2.42 mm $f_{T,lim}$ : 26.80 mm	$f_{A,max}$ : 2.86 mm $f_{A,lim}$ : 10.00 mm	<b>PASSA</b>
V-205: V 2 - P1	$f_{i,Q}$ : 0.71 mm $f_{i,Q,lim}$ : 4.43 mm	$f_{T,max}$ : 1.24 mm $f_{T,lim}$ : 6.20 mm	$f_{A,max}$ : 1.73 mm $f_{A,lim}$ : 3.10 mm	<b>PASSA</b>
V-206: P1 -	$f_{i,Q}$ : 1.00 mm $f_{i,Q,lim}$ : 5.28 mm	$f_{T,max}$ : 1.45 mm $f_{T,lim}$ : 7.40 mm	$f_{A,max}$ : 2.16 mm $f_{A,lim}$ : 3.70 mm	<b>PASSA</b>

Fonte: Autores da pesquisa

Já na figura 15 é demonstrado que a viga (V-201) não suporta a nova carga adicional, necessitando assim de reforço.

Figura 15 - Relatório sobre a viga após o carregamento.

Verificações de flecha				
Vigas	Sobrecarga (Característica) $f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	No tempo infinito (Quase permanente) $f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = L/250$	Ativa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = \text{Min.}(10,00, L/500)$	Estado
V-201: P1 - P2	$f_{i,Q}$ : 1.51 mm $f_{i,Q,lim}$ : 6.29 mm	$f_{T,max}$ : 3.62 mm $f_{T,lim}$ : 8.80 mm	$f_{A,max}$ : 4.49 mm $f_{A,lim}$ : 4.40 mm	<b>NÃO PASSA</b>
V-202: P2 - P3	$f_{i,Q}$ : 0.09 mm $f_{i,Q,lim}$ : 4.62 mm	$f_{T,max}$ : 0.16 mm $f_{T,lim}$ : 5.27 mm	$f_{A,max}$ : 0.15 mm $f_{A,lim}$ : 1.87 mm	<b>PASSA</b>
V-203: P3 - P4	$f_{i,Q}$ : 0.36 mm $f_{i,Q,lim}$ : 5.71 mm	$f_{T,max}$ : 0.67 mm $f_{T,lim}$ : 8.00 mm	$f_{A,max}$ : 0.90 mm $f_{A,lim}$ : 4.00 mm	<b>PASSA</b>
V-204: V 3 - V 6	$f_{i,Q}$ : 0.85 mm $f_{i,Q,lim}$ : 19.14 mm	$f_{T,max}$ : 2.41 mm $f_{T,lim}$ : 26.80 mm	$f_{A,max}$ : 2.85 mm $f_{A,lim}$ : 10.00 mm	<b>PASSA</b>
V-205: V 2 - P1	$f_{i,Q}$ : 0.71 mm $f_{i,Q,lim}$ : 4.43 mm	$f_{T,max}$ : 1.24 mm $f_{T,lim}$ : 6.20 mm	$f_{A,max}$ : 1.73 mm $f_{A,lim}$ : 3.10 mm	<b>PASSA</b>
V-206: P1 -	$f_{i,Q}$ : 1.00 mm $f_{i,Q,lim}$ : 5.28 mm	$f_{T,max}$ : 1.45 mm $f_{T,lim}$ : 7.40 mm	$f_{A,max}$ : 2.16 mm $f_{A,lim}$ : 3.70 mm	<b>PASSA</b>

Fonte: Autores da pesquisa

### 3.1.1 CALCULO REFERENTE A ELEMENTO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO

De acordo com os dados recolhidos *in loco* e representados abaixo, foram feitos os cálculos a seguir, a fim de determinar o reforço a ser utilizado com fibra de carbono.

$$B_w = 15\text{cm}$$

$$L = 220\text{cm}$$

$$h = 25\text{cm}$$

$$A_s = 1,57\text{cm}^2$$

$$d = 22,5\text{cm}$$

$$F_{ck} = 20\text{ Mpa}$$

$$d' = 2,5\text{cm}$$

$$\text{Aço} = \text{CA-50}$$

Figura 16 - Tabela de dimensionamento de seção retangular.

$\psi$	$\epsilon_c^{max}$ (‰)	$\epsilon_s$	$k_x$	$k_z$	fck 110	fck 135	fck 150	fck 180	fck 200	fck 220	fck 240	fck 260	CA-25	CA-40 (B)	CA-50 (B)	CA-60 (B)
0,121	0,20	10,00	<b>0,02</b>	0,99	98,40	79,80	75,70	69,10	<b>65,50</b>	62,50	59,80	57,50	2,14	3,44	4,20	5,17
0,244	0,42	10,00	<b>0,04</b>	0,98	44,20	39,90	37,90	34,60	<b>32,80</b>	31,30	29,90	28,80	2,13	3,42	4,28	5,14
0,257	0,54	10,00	<b>0,06</b>	0,98	29,90	27,00	25,60	23,30	<b>22,10</b>	21,10	20,20	19,40	2,12	3,40	4,26	5,11
0,465	0,87	10,00	<b>0,08</b>	0,97	22,80	20,60	19,50	17,80	<b>16,90</b>	16,10	15,40	14,80	2,10	3,37	4,22	5,06
0,565	1,11	10,00	<b>0,10</b>	0,96	18,60	16,80	15,90	14,50	<b>13,80</b>	13,10	12,60	12,10	2,08	3,34	4,17	5,00
0,657	1,36	10,00	<b>0,12</b>	0,95	15,80	14,30	13,50	12,40	<b>11,70</b>	11,20	10,70	10,30	2,06	3,30	4,13	4,96
0,742	1,63	10,00	<b>0,14</b>	0,94	13,80	12,50	11,90	10,80	<b>10,30</b>	9,79	9,37	9,01	2,05	3,28	4,10	4,93
0,811	1,90	10,00	<b>0,16</b>	0,94	12,40	11,20	10,60	9,68	<b>9,19</b>	8,76	8,39	8,06	2,05	3,27	4,08	4,90
0,872	2,20	10,00	<b>0,18</b>	0,93	11,40	10,20	9,70	8,86	<b>8,40</b>	8,01	7,67	7,37	2,02	3,23	4,04	4,85
0,917	2,50	10,00	<b>0,20</b>	0,92	10,50	9,50	9,02	8,23	<b>7,81</b>	7,44	7,13	6,85	2,00	3,20	4,00	4,80
0,955	2,82	10,00	<b>0,22</b>	0,91	9,92	8,93	8,47	7,73	<b>7,33</b>	7,00	6,70	6,43	1,98	3,17	3,96	4,75
0,987	3,16	10,00	<b>0,24</b>	0,90	9,38	8,46	8,03	7,33	<b>6,95</b>	6,63	6,34	6,09	1,97	3,15	3,94	4,73
<b>1,0</b>	<b>3,50</b>	<b>10,00</b>	<b>0,26</b>	<b>0,90</b>	<b>8,94</b>	<b>8,07</b>	<b>7,66</b>	<b>6,99</b>	<b>6,63</b>	<b>6,32</b>	<b>6,05</b>	<b>5,82</b>	<b>1,96</b>	<b>3,13</b>	<b>3,91</b>	<b>4,70</b>
1,0	3,50	9,00	<b>0,28</b>	0,89	8,67	7,82	7,42	6,77	<b>6,43</b>	6,13	5,87	5,64	1,94	3,10	3,87	4,64
1,0	3,50	8,17	<b>0,30</b>	0,88	8,42	7,60	7,21	6,58	<b>6,24</b>	5,95	5,70	5,48	1,92	3,06	3,83	4,59
1,0	3,50	7,44	<b>0,32</b>	0,87	8,20	7,40	7,02	6,41	<b>6,08</b>	5,80	5,55	5,33	1,90	3,03	3,78	4,54
1,0	3,50	6,79	<b>0,34</b>	0,86	8,00	7,22	6,85	6,25	<b>5,93</b>	5,66	5,42	5,20	1,86	2,99	3,76	4,51
1,0	3,50	6,22	<b>0,36</b>	0,86	7,78	7,02	6,66	6,08	<b>5,77</b>	5,50	5,26	5,06	1,85	2,97	3,74	4,48
1,0	3,50	5,71	<b>0,38</b>	0,85	7,61	6,87	6,52	5,95	<b>5,65</b>	5,38	5,15	4,95	1,84	2,96	3,70	4,43
1,0	3,50	5,25	<b>0,40</b>	0,84	7,46	6,74	6,39	5,83	<b>5,54</b>	5,28	5,05	4,85	1,82	2,92	3,65	4,38
1,0	3,50	4,83	<b>0,42</b>	0,83	7,33	6,61	6,27	5,73	<b>5,43</b>	5,18	4,96	4,77	1,80	2,89	3,61	4,33
1,0	3,50	4,45	<b>0,44</b>	0,82	7,20	6,50	6,17	5,63	<b>5,34</b>	5,09	4,88	4,68	1,78	2,87	3,59	4,30
<b>1,0</b>	<b>3,50</b>	<b>4,11</b>	<b>0,46</b>	<b>0,82</b>	<b>7,04</b>	<b>6,36</b>	<b>6,03</b>	<b>5,51</b>	<b>5,22</b>	<b>4,98</b>	<b>4,77</b>	<b>4,58</b>	<b>1,77</b>	<b>2,85</b>	<b>3,57</b>	4,15
1,0	3,50	3,79	<b>0,48</b>	0,81	6,94	6,26	5,94	5,42	<b>5,15</b>	4,91	4,70	4,51	1,76	2,82	3,45	4,02
1,0	3,50	3,50	<b>0,50</b>	0,80	6,84	6,17	5,86	5,35	<b>5,07</b>	4,84	4,63	4,45	1,74	2,75	3,34	3,88
1,0	3,50	3,23	<b>0,52</b>	0,79	6,75	6,09	5,78	5,28	<b>5,01</b>	4,77	4,57	4,39	1,72	2,67	3,22	3,75
1,0	3,50	3,00	<b>0,54</b>	0,78	6,67	6,02	5,71	5,21	<b>4,94</b>	4,71	4,51	4,34	1,7	2,57	3,12	3,62
1,0	3,50	2,75	<b>0,56</b>	0,78	6,55	5,91	5,61	5,12	<b>4,85</b>	4,63	4,43	4,26	1,66	2,51	3,05	3,41
1,0	3,50	2,53	<b>0,58</b>	0,77	6,47	5,84	5,54	5,06	<b>4,80</b>	4,58	4,38	4,21	1,68	2,47	2,95	3,03
1,0	3,50	2,33	<b>0,60</b>	0,76	6,41	5,78	5,49	5,01	<b>4,75</b>	4,53	4,34	4,17	1,66	2,38	2,81	2,84
1,0	3,50	2,15	<b>0,62</b>	0,75	6,34	5,73	5,43	4,96	<b>4,71</b>	4,49	4,30	4,13	1,64	2,32	2,54	2,71
1,0	3,50	1,97	<b>0,64</b>	0,74	6,29	5,67	5,38	4,91	<b>4,66</b>	4,45	4,26	4,09	1,60	2,24	2,31	2,53
1,0	3,50	1,80	<b>0,66</b>	0,74	6,19	5,59	5,30	4,84	<b>4,59</b>	4,38	4,19	4,03	1,59	2,09	2,34	2,41

Sussekind, 1979

Através da tabela foi determinado  $k_x = 0,26$ ;  $\epsilon_c = 3,5 \%$ ;  $\epsilon_s = 10\%$ ;  $\psi = 1,0$ .

- Cálculo para encontrar a linha neutra

$$X = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \times d$$

$$X = \frac{3,5}{3,5 + 10} \times 22,5$$

$$X = 5,84$$

- Cálculo do momento fletor resistente ( $M_{rd}$ )

$$M_{rd} = \psi \times 0,8X \times b_w \times 0,85 \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times (d - 0,4X)$$

$$M_{rd} = 1,00 \times 0,8 \times 0,0584 \times 0,15 \times 0,85 \times 1,4 \times (0,225 - 0,4 \times 0,0584)$$

$$M_{rd} = 17,15 \text{ KN.m}$$

- Cálculo área do aço ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{M_{rd}}{\frac{f_s}{\gamma_s} \times (d - 0,4X)}$$

$$A_s = \frac{17,15}{\frac{500}{1,15} \times (0,225 - 0,4 \times 0,0584)}$$

$$A_s = 1,95 \text{ cm}^2$$

- Cálculo das cargas permanentes (g)

$$Laje = 1,00m \times 1,00m \times 0,20m \times 20Mpa = 4,00 \text{ KN/m}$$

$$Viga = 0,15m \times 0,25m \times 1,00m \times 20Mpa = 0,75 \text{ KN/m}$$

$$Reboco = 0,5 \text{ KN/m}$$

$$Total = 5,25 \text{ KN/m}$$

- Cálculo das cargas permanentes, após ser colocada a caixa d'água 2000 L

$$gf = gi + 19,06$$

$$gf = 5,25 + 19,06$$

$$gf = 24,31 \text{ KN/m}$$

- Cálculo do momento fletor solicitante ( $M_{sd}$ )

$$Msd = \frac{gl^2}{8} \times \gamma$$

$$Msd = \frac{5,25 \times 2,2^2}{8} \times 1,4$$

$$Msd = 4,44 \text{ KN.m}$$

- Cálculo do momento fletor solicitante, após a instalação da caixa d'água

$$M_{sd} = \frac{gl^2}{8} \times \gamma$$

$$M_{sd} = \frac{24,31 \times 2,2^2}{8} \times 1,4$$

$$M_{sd} = 21,18 \text{ KN.m}$$

$M_{sd} > M_{rd}$ , sendo assim é necessário redimensionar o elemento.

- Cálculo do momento fletor, devido ao peso da viga ( $M_{gd}$ )

$$M_{gd} = \frac{(g + l)}{8} \times \gamma$$

$$M_{gd} = \frac{(5,25 + 2,2)}{8} \times 1,4$$

$$M_{gd} = 13,04 \text{ KN.m}$$

- Cálculo deformação máxima do concreto ( $K_{II}$ )

$$K = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{gd}}{bw}}}$$

$$K = \frac{22,5}{\sqrt{\frac{13,04}{0,15}}}$$

$$K = 2,41$$

- Cálculo da nova linha neutra

$$Mgd = \psi \times 0,68X \times bw \times 0,85 \times \frac{fck}{\gamma_c} \times (d - 0,4X)$$

$$13,04 = 1,00 \times 0,68X \times 0,15 \times 0,85 \times \frac{2000}{1,4} \times (0,225 - 0,4X)$$

$$X = 0,051 \text{ ou } 5,10 \text{ cm}$$

- Cálculo minoração da região comprimida (x')

$$X' = 0,8 \times X$$

$$X' = 0,8 \times 5,1$$

$$X' = 4,08 \text{ cm}$$

- Cálculo de força na armadura tracionada (Z)

$$Z = d - 0,4X'$$

$$Z = 22,5 - 0,4 \times 4,08$$

$$Z = 20,86$$

$$Fsd = \frac{Mgd}{Z}$$

$$Fsd = \frac{13,04}{0,20}$$

$$Fsd = 65,20 \text{ KN}$$

- Cálculo da tensão da armadura tracionada ( $\theta_{sd}$ )

$$\theta_{sd} = \frac{Fsd}{A_s}$$

$$\theta_{sd} = \frac{65,20}{1,57}$$

$$\theta_{sd} = 415,20 \text{ Mpa}$$

- Cálculo deformação do peso próprio ( $\epsilon_{bi}$ )

$$\varepsilon_{bi} = \frac{\theta_{sd}}{E f_s}$$

$$\varepsilon_{bi} = \frac{415,2}{21000}$$

$$\varepsilon_{bi} = 1,9 \%$$

- Cálculo da força resultante na seção comprimida do concreto ( $F_c$ )

$$F_c = \psi \times 0,8X \times b_w \times 0,85 \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$F_c = 1,00 \times 0,8 \times 0,510 \times 0,15 \times 0,85 \times \frac{2000}{1,4}$$

$$F_c = 74,31 \text{ KN}$$

- Cálculo de força resistente na seção de compressão do aço ( $F_s$ )

$$F_s = A_s \times \frac{F_{yd}}{\gamma_s}$$

$$F_s = 1,95 \times \frac{50}{1,15}$$

$$F_s = 84,78$$

- Cálculo deformação específica do aço

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \times \frac{(d - x)}{x}$$

$$\varepsilon_s = 3,5x \frac{(22,5 - 5,10)}{5,10}$$

$$\varepsilon_s = 11,94$$

Através dos cálculos foi possível perceber que a posição da linha neutra não é a necessária, sendo assim foi feito por tentativas.

Tentaremos  $X = 10$

- Cálculo da força resultante na seção comprimida do aço ( $F_c$ )

$$F_c = \psi \times 0,8X \times b_w \times 0,85 \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$F_c = 1,00 \times 0,8 \times 0,1 \times 0,15 \times 0,85 \times \frac{2000}{1,4}$$

$$F_c = 145,71 \text{ KN}$$

- Cálculo do momento fletor resistente ( $M_{rd}$ )

$$Mrd = \psi \times 0,8X \times bw \times 0,85 \times \frac{fck}{\gamma_c} \times (d - 0,4X)$$

$$Mrd = 1,00 \times 0,8 \times 0,1 \times 0,15 \times 0,85 \times \frac{2000}{1,4} \times (0,225 - 0,4 \times 0,1)$$

$$Mrd = 26,95 \text{ KN.m}$$

- $Mrd > Msd$ , sendo assim é possível calcular a quantidade de fibra de carbono.

$$\epsilon_{ref} = \epsilon_b - \epsilon_i$$

$$\epsilon_b = \epsilon_{ec} \times \frac{h - X}{d - X}$$

$$\epsilon_b = 3,5 \times \frac{25 - 10}{22,5 - 10}$$

$$\epsilon_b = 4,2$$

$$\epsilon_{ref} = 4,2 - 1,9$$

$$\epsilon_{ref} = 2,3\% \text{ ou } 0,00230$$

- Cálculo de resistência a tração na fibra de carbono ( $f_{fc}$ )

$$f_{fc} = E_f \times \epsilon_{fc}$$

$$f_{fc} = 0,00023 \times 227.000$$

$$f_{fc} = 52,21 \text{ ou } 52,21 \text{ KN/cm}^2$$

$$M_{rd} = F_s \times (d - 0,4X) + F_s' \times (d - 0,4X + \phi \times F_{ref} \times (h - 0,4X))$$

$$17,15 = 84,78 \times (0,225 - 0,4 \times 0,1) + 0 + 0,85 \times F_{ref} \times (0,25 - 0,4 \times 0,1)$$

$$F_{ref} = 82,25$$

- Cálculo da área de fibra de carbono para reforço ( $A_{fc}$ )

$$A_{fc} = \frac{E_{fc}}{f_{fc}}$$

$$A_{fc} = \frac{82,5}{522,1 \times 10^3}$$

$$A_{fc} = 1,58 \text{ cm}^2$$

- Espessura da fibra de carbono CFW-300 é 0,0166

$$A_{fc} = \frac{1,58}{0,0165}$$

$$A_{fc} = 95,76 \text{ cm}^2$$

O elemento estudado possui 15 cm de largura, neste caso serão utilizadas 7 camadas de 15 cm, em uma largura de 2,20 metros.

$$0,15 \text{ cm} \times 7 \text{ camadas} \times 2,20 \text{ metros} = 2,31 \text{ m}^2$$

### 3.1.2 CALCULO REFERENTE AO ELEMENTO REFORÇADO PELO MÉTODO DE ENCAMISAMENTO

- Linha neutra

$$X = 5,84 \text{ cm}$$

- Momento resistente

$$Mrd = 17,15 \text{ KN.m}$$

- Área do aço

$$As = 1,95 \text{ cm}^2$$

- Momento do peso próprio da viga

$$Mgd = 13,4 \text{ KN.m}$$

Sendo assim a altura útil deve ser determinada

- Cálculo do momento solicitante final.

$$Msd = (0,68 \times Xd - 0,272 \times X^2) \times bw \times \frac{Fcd}{\gamma}$$

$$2118 = [0,68 \times (0,259d) \times d - 0,272 \times (0,259d)^2] \times 15 \times \frac{2,5}{1,4}$$

$$d = 28,40 \text{ cm}$$

- Cálculo da área de tração ( $A_{st}$ )

$$A_{st} = \frac{Msd}{Z \times \frac{Fck}{\gamma}}$$

$$A_{st} = \frac{21,18}{20,86 \times \frac{50}{1,15}}$$

$$A_{st} = 2,33 \text{ cm}^2$$

- Cálculo da área do aço de reforço ( $A_{sref}$ )

$$A_{sref} = A_{st} - A_{s,efet}$$

$$A_{sref} = 2,33 - 1,30$$

$$A_{sref} = 1,03 \text{ cm}^2, \text{ será usado } 2 \Phi 10 \text{ mm}$$

- Cálculo da altura total da viga ( $H_{tot}$ )

$$H_{tot} = d + c + 0,5 \times 0,8/2$$

$$H_{tot} = 28,40 + 2,5 + 0,5 \times 0,8/2$$

$$H_{tot} = 31,1 \cong 32 \text{ cm}$$

Sendo assim a seção do elemento será de 32 cm, um aumento de 7 centímetros.

#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A metodologia comparativa adotada nessa pesquisa é entre as técnicas de reforço estrutural com fibra de carbono, e de encamisamento, como foi dito anteriormente.

Com os dados obtidos *in loco*, e os resultados apresentados, temos as análises de cada técnica.

A tabela 1 abaixo, representa as principais características de cada técnica.

Tabela 1 Comparação entre os dois métodos

##### **COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FIBRA DE CARBONO</b>	<b>ENCAMISAMENTO</b>
AUMENTO DA SEÇÃO	X	
LAVAGEM DA SUPERFÍCIE	X	X
DISPONIBILIDADE		X
CUSTO		X
ESTÉTICA	X	
ESCORAMENTO	X	
CORROSSÃO		X
PARALIZAÇÃO DA OBRA	X	
EXECUÇÃO	X	
MANUSEIO	X	
ALTA RESISTÊNCIA EM POUCO TEMPO	X	
ELEVAÇÃO DO PESO PRÓPRIO	X	
AUMENTO DA CAPACIDADE DE CARGA	X	X
MÃO DE OBRA		X
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>6</b>

Fonte: Autores da pesquisa

A diferença entre as técnicas será notável mais precisamente na parte financeira, entretanto, elas se assemelham apresentando alguns aspectos semelhantes, mas as metodologias de execução são bem diferentes.

A partir disso, apresenta-se os orçamentos de cada fase do reforço, a primeira tabela se refere ao custo do processo de preparação da superfície com a fibra de carbono, já a segunda, sobre o reforço com encamisamento.

Tabela 2 Custo de preparação da superfície para o reforço com fibra de carbono

<b>TABELA SETOP</b>		<b>UNIDADE</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>PREÇO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>REFERÊNCIA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>				
AUX-LIX-005	LIXAMENTO	M <sup>2</sup>	0,33	R\$ 7,33	R\$ 2,42
LAJ-ESC-005	ESCORAMENTO	M <sup>2</sup>	0,33	R\$ 5,96	R\$ 1,97
				<b>TOTAL</b>	R\$ 4,39

Fonte: Autores da pesquisa

Tabela 3 Custo da preparação da superfície para o método de encamisamento

<b>TABELA SETOP</b>		<b>UNIDADE</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>PREÇO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>REFERÊNCIA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>				
AUX-LIX-005	LIXAMENTO	M <sup>2</sup>	0,33	R\$ 7,33	R\$ 2,42
PIS-API-005	APICOTAMENTO	M <sup>2</sup>	0,33	R\$ 6,11	R\$ 2,02
LAJ-ESC-005	ESCORAMENTO	M <sup>2</sup>	0,33	R\$ 5,96	R\$ 1,97
				<b>TOTAL</b>	R\$ 6,40

Fonte: Autores da pesquisa

Em seguida, serão apresentadas as tabelas com os orçamentos dos materiais necessários para os dois casos

Tabela 4 Orçamento para materiais utilizados no reforço com fibra de carbono

<b>CARACTERIZAÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>PREÇO</b>	<b>TOTAL</b>
VIAPOL CARBON CFW 300 (m <sup>2</sup> )	2,5	R\$ 119,05	R\$ 297,63
VIAPOL CARBON PRIMER (CJ 5 KG)	1	R\$ 478,89	R\$ 478,89
VIAPOL CARBON SATURANTE (CJ 15 KG)	1	R\$ 1.468,93	R\$ 1.468,93
<b>VALOR FINAL</b>			R\$ 2.245,45

Fonte: Autores da pesquisa

Os produtos necessários para execução do reforço com a fibra de carbono só foram encontrados na região de Belo Horizonte. Entretanto, quando os custos dos materiais forem superiores a R\$1.500,00 (Um mil e quinhentos reais) não será cobrado a taxa de frete.

Tabela 5 Orçamento de materiais para o método de encamisamento

<b>CARACTERIZAÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>PREÇO</b>	<b>TOTAL</b>
ESCORAS (Pç)	2	R\$ 5,62	R\$ 11,24
FERRAGEM 10mm	2	R\$ 23,00	R\$ 46,00
FORNECIMENTO DE CONCRETO ESTRUTURAL VIRADO EM OBRA FCK $\geq$ 20 MPA (m <sup>3</sup> )	0,03	R\$ 321,16	R\$ 9,63
COLOCAÇÃO E RETIRADA DE FORMA DE VIGA (M <sup>2</sup> )	1,75	R\$ 62,54	R\$ 109,45
<b>VALOR FINAL</b>			<b>R\$ 176,32</b>

Fonte: SETOP e SINAP

O orçamento dos materiais para o método de encamisamento já está incluído a mão de obra, já no caso da fibra de carbono, método que necessita de mão de obra especializada, em contato com o vendedor, foi informado que o valor cobrado para a instalação no local, foi de R\$1.200,00 (um mil e duzentos reais).

Como apresentado nas tabelas anteriores, pode-se verificar que o método de reforço por fibra de carbono teria um total final de R\$3.449,84 (três mil, quatrocentos e quarenta e nove reais, e oitenta e quatro centavos), já o método de encamisamento o valor final é de R\$182,72 (cento e oitenta e dois reais e setenta e dois centavos).

A partir disso, podemos observar uma diferença financeira considerável entre as duas técnicas, vale lembrar que mesmo aparentando a necessidade de um reforço, a estrutura deve ser analisada por um profissional capacitado, afim de garantir a escolha da melhor técnica, nessa análise deve se observar a disposição de espaço para um eventual aumento de seção e principalmente o custo que será repassado ao cliente.

## 5 CONCLUSÃO

As técnicas apresentadas se diferenciam em alguns aspectos, tais como, tempo de execução, mãos-de-obra e preço, mas em relação a reforço estrutural, as duas são consideradas boas.

Na preparação da superfície também é possível encontrar diferenças entre as mesmas, no caso do encamisamento é necessário picotar a viga ao longo do seu tamanho para se ter mais aderência dos novos materiais que serão colocados, já no reforço com a fibra de carbono não é necessário.

Um dos maiores destaques que a fibra de carbono tem em relação ao método de encamisamento, é o fato do seu aumento de seção ser quase desprezível, enquanto o aumento de seção no método de encamisamento foi de 7 centímetros...

Ao compararmos a viabilidade econômica de cada técnica, é possível concluir que o método de encamisamento se torna mais viável uma vez que os materiais necessários para a execução do mesmo são encontrados com mais facilidade em nossa região, já no caso da fibra de carbono, os materiais necessários para a execução não são facilmente encontrados em nossa região o que os torna mais caros e menos acessível, a empresa a qual encontramos a disponibilidade e fizemos o orçamento fica localizada em Belo Horizonte a 300km da cidade ao qual a pesquisa foi realizada.

Enfim, conforme os objetivos dessa pesquisa, conclui-se que economicamente o método de encamisamento seria o mais viável, por ter menores custos em relação a fibra de carbono.

É colocado como sugestão de pesquisas futuras, a comparação entre outros métodos de reforço encontrados na região, e a comparação de eficiência dos mesmos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(ABNT) Associação Brasileira de normas técnicas. Projeto de estruturas de concreto NBR 6118 2014, Rio de Janeiro 2014.

ADORNO, F, V., DIAS, F, O e SILVEIRA, J, C, O. *Recuperação e reforço de vigas de Concreto Armado*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ARALDI, E. *Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Deficiência de métodos de calculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais*. Porto Alegre, Dezembro 2013. 118p. Dissertação (Graduação em engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BASTOS, P, S, S. *Históricos e principais elementos estruturais de concreto armado*. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2006.

BEBER, A, J. *Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono*. Tese (Pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Julho 2003.

CAETANO, T, G. *Reforço de vigas de concreto com fibra de carbono*. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade de Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.

CARVALHO, J, D, N. *Sobre as origens e desenvolvimento do concreto*. Revista tecnológica. Maringá, v 17, p. 19-28, 2008.

EMMONS . *Reforço Estrutural com compósitos de Fibra de Carbono*. PUC-RIO, 2000.

HAMMAN.R *Fibra de Carbono: como é feito e como funciona este material incrível*. Revista Tecmundo, Março 2017. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/quimica/76017-fibra-carbono-feito-funciona-material-incrivel.htm>

LEBRÃO, G, W. *Fibra de carbono*. Centro universitário do instituto de Mauá de tecnologia. Revista Plástico Sul. Outubro, 2008.

LIMA, C, I, V., COUTINHO, C, O, D., AZEVEDO, BARROS, T, Y, G., TAUBER, T, C e LIMA, S, F. *Concreto e suas inovações*. Ciências exatas e tecnologias, v. 1, p.31-40. Maceió, maio 2014.

MACHADO, A, P. *Reforço de estrutura em concreto armado com fibra de carbono*, Editora PINI, 2002. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/125/artigo285695>- Acesso em 25/05/2017

NASCIMENTO, P, L, S. *A importância do controle tecnológico do concreto*. Dissertação ( Graduação em Engenharia Civil ). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012.

PIVATTO, A,B. *Reforço estrutural á flexão para viga biapoiada de concreto armado por chapas metálicas e compósito reforçado com fibras de carbono*. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

REIS, L, S, N. *Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado*. 2001.109 p. Dissertação ( Pós graduação em engenharia das estruturas). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

REVISTA TÉCNICA. *Reforço de estruturas de concreto com Fibra de Carbono*. Belo Horizonte. Edição 125, Agosto 2007.

SANTOS, G, S. *Aplicação de mantas de polímeros reforçados com fibra de carbono (prfc) como reforço á punção em lajes lisas de concreto armado*. Tese (Doutorado em estruturas e construção Civil). Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SILVA, J, V, G e MATOS, L, H, L, D. *As novas diretrizes para o controle e aceitação do concreto simples*. Revista Interatividade, v.4 ,p.56-70.Andradina SP, 2016.

SILVA, L, C, P. *Concreto, material construtivo mais consumido do mundo*. Revista Concreto.. P.5-77. Curitiba (2009)

SILVA, P, M., LISERRE, A, P, A, R e SILVA, A, F. *Vigas de concreto armado reforçadas por meio de encamisamento*. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 5, p.20-30, 2012. Universidade Federal de Goiás.

SOTO, R, C. *Reforço e recuperação de vigas de concreto armado*. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SOUSA, A, F, V, S. *Reparação, reabilitação e reforço de estruturas de Betão armado*. Tese ( Mestrado em Estruturas). Universidade do Porto, Setembro 2008.